

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 02 161.2

Anmeldetag: 21. Januar 2003

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, 81669 München/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals

IPC: H 04 L 27/26

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals

5

10

15

20

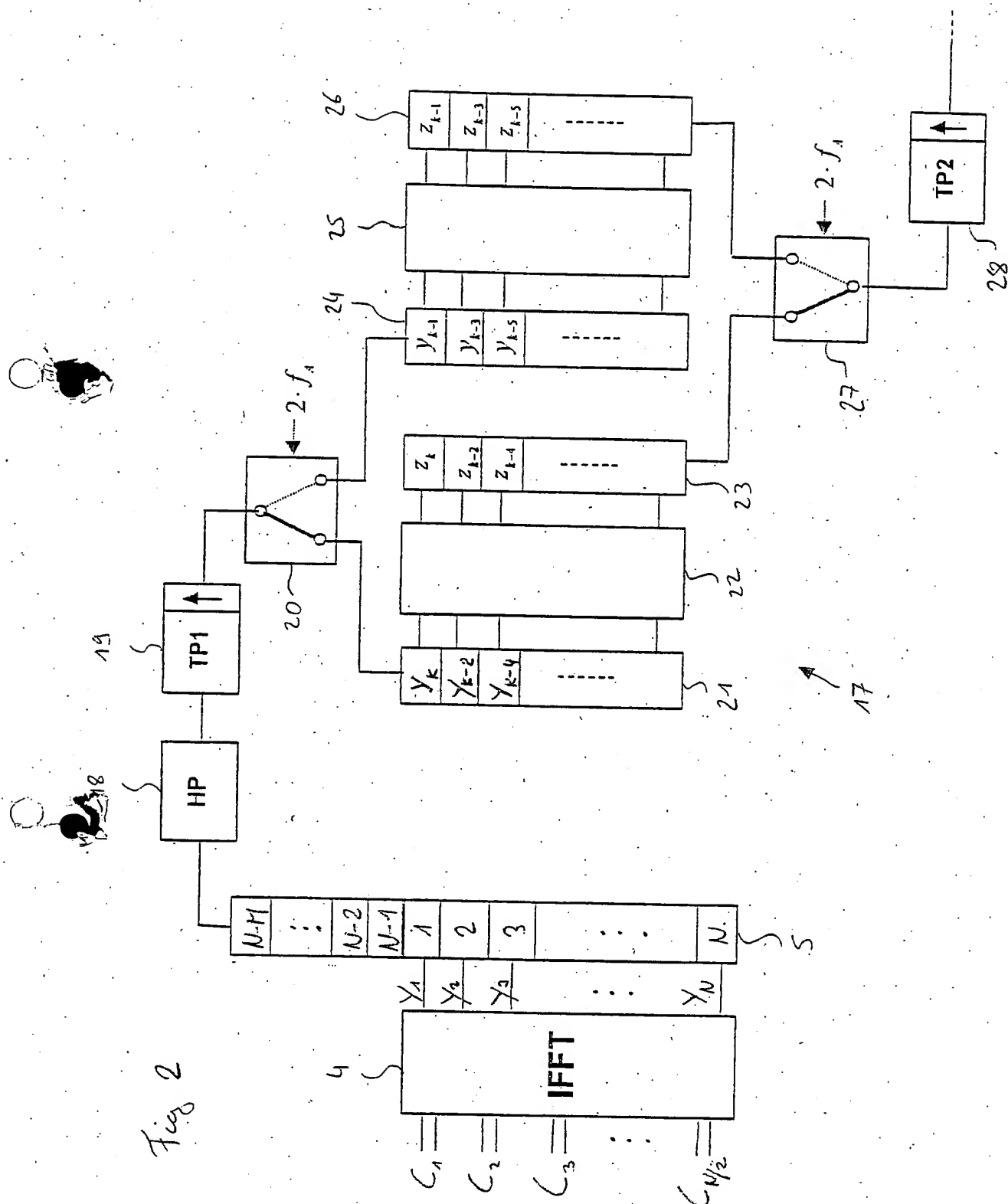
25

30

Um bei einem Signal, das insbesondere zur Datenübertragung nach dem Verfahren der diskreten Multiton-Modulation eingesetzt wird, den Crest-Faktor zu verändern und insbesondere zu verringern, ist es bekannt, das Signal in Form einzelner Abtastwerte in einem Signalvektor (y) zu speichern, in dessen Abhängigkeit ein Korrekturvektor (Δy) zur Überlagerung des Signalvektors (y) berechnet wird. Wenn die Frequenzanteile des korrigierten Signalvektors durch Filterung verändert werden sollen, wird nachteiligerweise der Crest-Faktor unter Umständen wieder erhöht. Erfindungsgemäß wird daher zur Veränderung des Crest-Faktors der Korrekturvektor (Δy) dem Signalvektor (y) nach einer vorrausgegangenen Filterung überlagert. Vorteilhafterweise wird bei der vorhergehenden Filterung die Abtastfrequenz verdoppelt und werden die Elemente des bezüglich der abtastfrequenzverdoppelten Signalvektors (y) auf zwei Teilsignalvektoren abwechselnd aufgeteilt. Der Crest-Faktor wird anschließend dadurch verändert, dass für jeden Teilsignalvektor unabhängig ein Korrekturvektor berechnet und dem jeweiligen Teilsignalvektor überlagert wird. Anschließend werden die korrigierten Teilsignalvektoren wieder abwechselnd zu einem abtastfrequenzverdoppelten Signalvektor zusammengesetzt.

(Figur 2)

Fig 2



Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Vorrichtung zur Veränderung und insbesondere Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals, wobei das Signal von einem Signalvektor beschrieben wird und zum Verändern des Crest-Faktors des Signals in Abhängigkeit des Signalvektors wenigstens ein Korrekturvektor berechnet und zum Signalvektor hinzuaddiert wird.

10

15

Der Crest-Faktor eines Signals gibt das Verhältnis des Spitzenwerts des Signals zu dessen Effektivwert an. Mit steigendem Crest-Faktor nimmt auch der Aufwand zu, der zu einer linearen Verarbeitung des Signals erforderlich ist. Die Signalverarbeitung in diesem Sinne umfasst beispielsweise eine Digital-Analog-Wandlung, eine Analog-Digital-Wandlung, eine analoge oder digitale Filterung, eine Verstärkung oder Abschwächung und eine Übertragung über eine Leitung.

20

25

Insbesondere Signale, die bei der Anwendung der diskreten Multiton-Modulation erzeugt worden sind, können einen hohen Crest-Faktor aufweisen. Die diskrete Multiton-Modulation (DMT) - auch Mehrträger-Modulation - ist ein Modulationsverfahren, das sich insbesondere zur Übertragung von Daten über linear verzerrende Kanäle eignet. Anwendungsbereiche für die diskrete Multiton-Modulation sind beispielsweise der digitale Rundfunk DAB (Digital Audio Broadcast) unter der Bezeichnung OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) und die Übertragung von Daten über Telefonleitungen unter der Bezeichnung ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

30

35

Bei diesen Modulationsverfahren setzt sich das Sendesignal aus vielen sinusförmigen Signalen zusammen, wobei jedes einzelne Sinussignal sowohl in der Amplitude als auch in der

Phase moduliert wird. Man erhält somit eine Anzahl von quadraturamplitudemodulierten Signalen. Zur Realisierung kann man im Sender die inverse Fourier-Transformation, insbesondere die inverse FFT (Fast Fourier-Transformation), und im Empfänger die normale Fourier-Transformation, insbesondere die FFT (Fast Fourier-Transformation), verwenden.

Ein Datenübertragungssystem unter Verwendung der diskreten Multitonmodulation weist beispielsweise einen Kodierer auf, der die Bits eines seriellen digitalen Datensignals, das übertragen werden soll, einzelnen Trägerfrequenzen zuteilt und einen digitalen Signalvektor im Frequenzbereich erzeugt. Durch eine inverse schnelle Fourier-Transformation (IFFT) wird der Signalvektor im Frequenzbereich in den Zeitbereich transformiert. Das durch den erzeugten Signalvektor dargestellte Signal im Zeitbereich weist eine Amplitudenverteilung auf, die ungefähr einer Gauss-Verteilung entspricht. Ein Diagramm einer derartigen Verteilung ist in Figur 4 dargestellt, wobei auf der waagrechten Achse nach rechts verschiedene Amplitudenwerte aufgetragen sind und auf der senkrechten Achse nach oben die Häufigkeit n des Auftretens der einzelnen Amplitudenwerte aufgetragen ist. Wie in dem Diagramm zu erkennen ist, können auch sehr große Amplitudenwerte mit einer gewissen, wenn auch geringeren, Wahrscheinlichkeit auftreten. Dadurch ist der Crest-Faktor des Signals sehr groß, so dass die sich an die FFT anschließenden Komponenten der Signalübertragungskette einen großen Aussteuerbereich bzw. eine hohe Auflösung besitzen müssen, um Verzerrungen zu vermeiden. Um den dafür erforderlichen Aufwand möglichst gering zu halten, ist es bekannt, den Crest-Faktor des Signals im Zeitbereich zu verringern.

So ist beispielsweise durch die DE 19850642 A1 ein Verfahren zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals bekannt, bei dem aus dem Signalvektor ein Korrekturvektor berechnet wird, der zum Signal hinzuaddiert wird, wobei der Korrekturvektor so gewählt wird, dass zum einen der Crest-Faktor verringert



wird und zum anderen die Spektralanteile des Korrekturvektors sich nur bei der halben Abtastfrequenz des Signals oder bei der Frequenz 0 befinden, so dass durch den Korrekturvektor nur Spektralanteile hinzugefügt werden, die die zu übertragenden Daten wenig oder nicht stören.

Weiterhin sind Verfahren bekannt, bei denen zur Reduzierung des Crest-Faktors bei der diskreten Multiton-Modulation Trägerfrequenzen verwendet werden, die für die Datenübertragung nicht genutzt werden. Diese ungenutzten Trägerfrequenzen sind insbesondere gleichmäßig über den Nutzfrequenzbereich verteilt und schmälern nachteiligerweise so die zur Datenübertragung zur Verfügung stehende Bandbreite. Ein derartiges Verfahren ist durch M. Friese, „Mehrträgermodulation mit kleinem Crest-Faktor“, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 10, Nr. 472, Düsseldorf 1997 bekannt. Weiterhin ist bei diesem Verfahren nachteiligerweise ein hoher Schaltungsaufwand zur Auswahl und Belegung der ungenutzten Trägerfrequenzen nötig und ist es erforderlich, einem Empfänger mitzuteilen, welche Trägerfrequenzen zur Reduzierung des Crest-Faktors verwendet wurden.

Bei den bekannte Verfahren wird der Crest-Faktor unmittelbar nach Erzeugung des Signalvektors im Zeitbereich reduziert. An die Verringerung des Crest-Faktors schließt sich in vielen Anwendungsfällen eine Filterschaltung an, um den Frequenzbereich des erzeugten Signalvektors zu begrenzen. In vielen Anwendungsfällen, insbesondere in Systemen mit einem digitalen Sendefilter mit steilen Filterflanken und entsprechend langer Impulsantwort, steigt nachteiligerweise der Spitzenwert nach der Filterung wieder an, so dass sich der Crest-Faktor wieder verschlechtert.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren, sowie eine entsprechend ausgestaltete Vorrichtung zum Verändern des Crest-Faktors eines Signals mittels eines in Abhängigkeit des Signalvektors berechneten und hinzugefügten Korrekturvektors zu schaffen, wobei der Frequenzbe-

reich des erzeugten Signalvektors begrenzt werden kann und eine wirkungsvolle Verringerung des Crest-Faktors erreicht wird.

- 5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 16 gelöst. Die Unteransprüche definieren jeweils bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

10

Erfindungsgemäß wird der Signalvektor zuerst gefiltert und wird erst anschließend in Abhängigkeit des gefilterten Signalvektors der wenigstens eine Korrekturvektor zur Veränderung und insbesondere Verringerung des Crest-Faktors des Signalvektors berechnet und zum gefilterten Signalvektor hinzugeaddiert. Auf diese Weise kann der Frequenzbereich des Signals bzw. des Signalvektors verändert und dennoch eine wirkungsvolle Veränderung, und insbesondere Verringerung, des Crest-Faktors erreicht werden.

20

Zur additiven Korrektur des Signalvektors kann ein Korrekturvektor oder können mehrere Korrekturvektoren hinzuaddiert werden, die auch vorher zu einem einzelnen Korrekturvektor zusammengefasst werden können.

25

Wenn der in den Zeitbereich transformierte Signalvektor mehrere Filterstufen durchläuft, wird die Verringerung des Crest-Faktors mit Hilfe des Korrekturvektors vorteilhafterweise nach der Filterstufe durchgeführt, die den Crest-Faktor des Signals am stärksten erhöht.

30

Die Filterung des Signals kann beispielsweise bei der Datenübertragung über eine Telefonleitung eine Hochpassfilterung sein, um den unteren Frequenzbereich für Telefongespräche freizuhalten. Weiterhin kann die Filterung eine Tiefpassfilterung umfassen, um vor der Übertragung über eine Leitung unerwünschte hochfrequente Signalanteile zu entfernen, die bei-

35

spielsweise durch die Digitalisierung entstanden sind, wobei insbesondere alle Frequenzanteile über der halben Abtastfrequenz bzw. der Nyquist-Frequenz entfernt werden, um eine Verletzung des Abtasttheorems zu vermeiden.

5 Der wenigstens eine Korrekturvektor wird so berechnet, dass nach dessen Addition zum Signalvektor die mit den Signal übertragenden Daten nicht gestört werden und der Crest-Faktor des Signals dennoch verringert wird. Dies kann insbesondere
10 dadurch geschehen, dass der wenigstens eine Korrekturvektor durch Skalieren wenigstens eines Ausgangskorrekturvektors berechnet wird, dessen Spektralanteile in ungenutzten Frequenzbereichen liegen. Diese sind insbesondere die Frequenz 0, d.h. ein Gleichanteil, oder die halbe Abtastfrequenz, d.h. die
15 Nyquist-Frequenz, die zur Datenübertragung ohnehin schlecht geeignet ist, da sie nur mit einem reellen Datensymbol beaufschlagt werden könnte. Daneben ist es selbstverständlich auch möglich, den wenigstens einen Korrekturvektor so zu wählen, dass er einen Frequenzanteil aufweist, der im Nutzfrequenzbereich der Datenübertragung liegt, wobei in diesem Fall der
20 vom Korrekturvektor belegte Frequenzbereich nicht zur Datenübertragung zur Verfügung steht.

25 In einer vorteilhaften Ausführungsform wird das Signal so erzeugt, dass die übertragenden Daten Frequenzanteile nur bis zu der durch $2^{(N+1)}$ geteilten Abtastfrequenz des Signals aufweisen, wobei N ganzzahlig und ≥ 1 ist. In diesem Fall werden die Signalwerte des Signalvektors zyklisch abwechselnd auf 2^N Teilsignalvektoren aufgeteilt und die Verringerung des Crest-
30 Faktors durch Berechnung wenigstens eines Korrekturvektors unabhängig für jeden Teilsignalvektor durchgeführt. Dies bedeutet, dass in Abhängigkeit jedes Teilsignalvektors wenigstens ein Korrekturvektor berechnet und zum jeweiligen Teilsignalvektor hinzuaddiert wird. Anschließend werden die Elemente der Teilsignalvektoren wiederum zyklisch abwechselnd zu
35 einem Ausgabesignalvektor zusammengesetzt.

N ist insbesondere gleich 1, so dass die Spektralanteile der Daten unterhalb der durch 4 geteilten Abtastfrequenz des Signals liegen und zwei Teilsignalvektoren existieren. Durch die Aufteilung der Elemente des Signalvektors auf zwei Teilsignalvektoren können zur Korrektur als

Ausgangskorrekturvektoren ein Sinussignal und ein Kosinussignal jeweils mit der durch 4 geteilten Abtastfrequenz des Signals verwendet werden, wobei das Sinussignal auf einen Teilsignalvektor und das Kosinussignal auf den anderen Teilsignalvektor angewendet wird. Diese Vorgehensweise ist möglich, da bei der Abtastung mit der Abtastfrequenz allgemein eines Korrektursignals mit einer Frequenz, die einem Viertel der Abtastfrequenz entspricht, abwechselnd immer der Kosinus- bzw. der Sinusanteil

verschwindet. Durch die Aufteilung der Elemente des Signalvektors auf die zwei Teilsignalvektoren erhält man einen Datenblock von Abtastwerten mit geradem Zeitindex und einen anderen Datenblock mit ungeradem Zeitindex. Die Abtastfrequenz in den beiden Datenblöcken beträgt die Hälfte der Abtastfrequenz des ursprünglichen Signalvektors.

Wenn Δy_1 der Korrekturvektor für den ersten Teilsignalvektor y_1 und Δy_2 der Korrekturvektor für den zweiten Teilsignalvektor y_2 ist, k den Laufindex für die Elemente in den Vektoren beschreibt und $k \geq 1$ ist, so können die beiden Korrekturvektoren wie folgt berechnet werden:

$$\Delta y_1 = -\frac{1}{2} \cdot (-1)^k \left(\max((-1)^k \cdot y_{1k}) + \min((-1)^k \cdot y_{1k}) \right)$$
$$\Delta y_2 = -\frac{1}{2} \cdot (-1)^k \left(\max((-1)^k \cdot y_{2k}) + \min((-1)^k \cdot y_{2k}) \right),$$

wobei max und min jeweils das größte Element bzw. das kleinste Element des jeweiligen Teilsignalvektors beschreibt. Die Spektralanteile der beiden Korrekturvektoren liegen bei der halben Abtastfrequenz der Teilsignalvektoren bzw. bei einem Viertel der Abtastfrequenz des ursprünglichen Signalvektors.

Aus den beiden Korrekturvektoren Δy_1 und Δy_2 und deren Teilsignalvektoren y_1 und y_2 werden zur Weiterverarbeitung ein

7

erster Summenvektor z_1 und ein zweiter Summenvektor z_2 wie folgt berechnet:

$$z_1 = y_1 + \Delta y_1$$

5

$$z_2 = y_2 + \Delta y_2$$

10

Daneben besteht auch die Möglichkeit, einen Korrekturvektor zu verwenden, der nur einen Gleichanteil hinzufügt. In diesem Fall würden sich die beiden Korrekturvektoren Δy_1 und Δy_2 wie folgt berechnen:

$$\Delta y_1 = -\frac{1}{2} \cdot (\max(y_{1_k}) + \min(y_{1_k}))$$

$$\Delta y_2 = -\frac{1}{2} \cdot (\max(y_{2_k}) + \min(y_{2_k}))$$

15

20

Bei den vorstehenden Berechnungsvorschriften bezieht sich der Laufindex k auf die jeweiligen Teilsignalvektoren. Das heißt, k läuft von 1 bis zur Anzahl der Elemente in jedem Teilsignalvektor bzw. im Fall von zwei Teilsignalvektoren bis zu der halben Anzahl der Elemente im ursprünglichen Signalvektor.

25

Die vorgenannte Berechnungsvorschriften eignen sich ebenso zur Berechnung von Korrekturvektoren zur Anwendung direkt bei dem Signalvektor, wobei der Laufindex k sich in diesem Fall auf den Signalvektor bezieht und von 1 bis zur Anzahl der Elemente im Signalvektor läuft. In diesem Fall muss selbstverständlich nur ein Korrekturvektor berechnet werden.

30

In einer vorteilhaften Ausführungsform kann der Korrekturvektor vor der Addition mit dem Signalvektor oder einem Teilsignalvektor mit einer Fensterfunktion multipliziert werden bzw. gefenstert werden. Dies bedeutet, dass die Elemente des Korrekturvektors nur in wenigstens einem begrenzten Bereich von 0 verschieden sind. Die Lage dieses wenigstens einen Bereichs wird so gewählt, dass damit ein maximaler Wert im Si-

35

8.

gnalvektor bzw. Teilsignalvektor verringert werden kann. Insbesondere wird der Korrekturvektor so gefenstert, dass er in einem Bereich von 0 verschieden ist und wird dieser Bereich genau so gelegt, dass damit ein Maximum des Signalvektors verringert werden kann. Wenn der zu verringernde Maximalvektor nahe an einem Rand des Signalvektors auftritt, und der Bereich mit von 0 verschiedenen Elementen des gefensterten Korrekturvektors bzw. die Fensterlänge über den Korrekturvektor hinausgehen würde, wird vorteilhafterweise der über den Rand hinausgehende Fensterteil am anderen Ende des Korrekturvektors aufgenommen, so dass sich bei zyklischer Fortschreibung des Korrekturvektors der zusammenhängende Fensterbereich ergibt. Durch die Fensterung werden jedoch zusätzliche Spektralanteile in den Korrekturvektor eingeführt. Dies bedeutet, dass abhängig von der gewählten Fensterfunktion eine bestimmte Anzahl von Übertragungsfrequenzen nahe der Abtastfrequenz des Korrekturvektors gestört werden. Wenn ein breites Fenster verwendet wird, ist der Bereich der gestörten Frequenzen gering, jedoch können mit einem derart gefensterten Korrekturvektor die extremen Werte im Signalvektor weniger gezielt bzw. punktuell verringert werden. Wenn umgekehrt ein schmales Fenster verwendet wird, um die Extremwerte des Signalvektors gezielt verringern zu können, verbreitert sich der Bereich gestörter Frequenzen im Signalvektor.

Da aufgrund des gefensterten Korrekturvektors nur ein Teil des Signalvektors beeinflusst wird, kann der Crest-Faktor im Signalvektor mit einem gefensterten Korrekturvektor mehrmals hintereinander verringert werden, wenn die Fenster der einzelnen Korrekturvektoren eine unterschiedliche Lage besitzen.

Auf diese Weise ist es möglich, nacheinander mehrere Extremwerte im Signalvektor zu verringern, indem für jeden Extremwert ein Korrekturvektor verwendet wird, der derart gefenstert ist, dass er nur in einem Bereich nahe dem Extremwert von 0 verschiedene Werte aufweist, so dass die übrigen Berei-

che des Korrekturvektors, in dem die Elemente 0 betragen, den Signalvektor nicht verändern.

Nach der Übertragung des Signalvektors über eine Leitung zum Empfänger, wird der empfangene Signalvektor auf der Empfängerseite in aller Regel mittels einer normalen Fourier-Transformation und insbesondere einer Fast Fourier-Transformation in den Frequenzbereich zurückgewandelt. In aller Regel liegt auf der Sendeseite ein kontinuierliches Signal vor, das zur Übertragung in Zeitabschnitte unterteilt wird, die in Form jeweils eines Signalvektors zum Empfänger übertragen werden. Der Übertragungsweg bis zum Empfänger weist aufgrund von eingefügten Filtern und der Leitung ein bestimmtes Übertragungsverhalten auf, das in Bezug auf die Signalform des übertragenen Signalvektors Einschwingvorgänge bedingt. Dies hat zur Folge, dass auf der Empfängerseite die Signalform des Signalvektors am Anfang stärker gestört ist. Dies erschwert die Entzerrung auf der Empfängerseite, da periodische Störungen, die sich über die gesamte Länge des empfangenen Signalvektors gleichförmig auswirken, leichter entzerrt werden können als aperiodische Störungen, die nur in einem Abschnitt des Signalvektors auftreten und beispielsweise durch die Einschwingvorgänge verursacht werden. Aus diesem Grund kann vorteilhafterweise vorgesehen werden, den Signalvektor vorne oder hinten um ein Prefix oder ein Guard-Intervall zu verlängern. Dazu wird an einem ersten Ende des Signalvektors ein Teil des Signalvektors vom entgegengesetzten zweiten Ende des Signalvektors angefügt, wobei der Signalvektor zyklisch verlängert wird. Wenn beispielsweise ein Teil am Ende des Signalvektors als Prefix vor den Signalvektor vorangestellt wird, kann die Übertragungsstrecke einschließlich aller Kanal- und Filterverzerrungen während dieses Prefixes bereits einschwingen, so dass sich idealerweise die Übertragungsstrecke zu Beginn des Signalvektors bereits im eingeschwungenen Zustand befindet und der empfangene Signalvektor leichter entzerrt werden kann. Dazu wird auf der Empfängerseite der Signalvektor samt Prefix bzw. Guard-

Intervall empfangen und nur der Signalvektor ohne Prefix bzw. Guard-Intervall der Signalverarbeitung durch insbesondere inverse Fourier-Transformation zugeführt.

- 5 Wenn bei einem Übertragungsverfahren unter Verwendung eines Prefixes bzw. Guard-Intervalls der Crest-Faktor mittels eines überlagerten Korrekturvektors verändert werden soll, muss folgendes beachtet werden. Grundsätzlich muss der Korrekturvektor an die Länge des Signalvektors angepasst werden. Wenn
- 10 der Korrekturvektor vor der Anfügung des Prefixes oder des Guard-Intervalls überlagert wird, besitzt der Korrekturvektor die Länge des Signalvektors, so dass mit der Anfügung des Prefixes oder Guard-Intervalls auch der bereits überlagerte Korrekturvektor zyklisch fortgeschrieben wird. Wird der Kor-
- 15 rekturvektor nach Anfügen des Prefixes oder Guard-Intervalls überlagert, muss der Korrekturvektor die Länge des Signalvektors zuzüglich des Guard-Intervalls aufweisen. Für die Berechnung des Korrekturvektors macht dies keinen Unterschied, wenn der Korrekturvektor über seine gesamte Länge die gleiche
- 20 Signalform besitzt. Bei einem ungefensterten Korrekturvektor ist daher die Berechnung des Korrekturvektors in aller Regel unabhängig davon, ob der Korrekturvektor vor oder nach der Anfügung des Prefixes bzw. Guard-Intervalls überlagert wird.
- 25 Wird dagegen ein gefensterter Korrekturvektor verwendet, so besitzt dieser über seine Länge notwendigerweise keine konstante Signalform. Wenn ein gefensterter Korrekturvektor vor der Anfügung des Prefixes bzw. Guard-Intervalls überlagert wird, wird der überlagerte Korrekturvektor automatisch zusam-
- 30 men mit dem Signalvektor zyklisch fortgeschrieben und kann wie zuvor beschrieben berechnet werden. Wenn dagegen ein gefensterter Korrekturvektor einem Signalvektor mit angefügten Prefix überlagert werden soll, muss berücksichtigt werden, wo der Fensterbereich mit von 0 verschiedenen Werten des Korrektur-
- 35 vektors in Bezug auf den Signalvektor und das Guard-Intervall liegt. Liegt der Fensterbereich vollständig innerhalb des Signalvektors und außerhalb des Guard-Intervalls,

können der Korrekturvektor und der Signalvektor wie zuvor beschrieben berechnet werden. Wenn dagegen der Fensterbereich derart am Rand des Signalvektors liegt, dass er über ein Ende des Signalvektors hinausragen würde, muss der hinausragende Teil des Fensterbereichs zyklisch am anderen Ende des Signalvektors fortgeschrieben werden, das heißt unter Umständen auch an der Grenze zwischen Guard-Intervall und Signalvektor und nicht am Anfang des aus Guard-Intervall und Signalvektor zusammengesetzten Vektors.

10

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

15 Figur 1 zeigt den schematischen Aufbau einer Schaltungsanordnung zur Datenübertragung nach der diskreten Multiton-Modulation,

Figur 2 zeigt einen Ausschnitt der Schaltungsanordnung gemäß Figur 1, der die Komponenten zur Verringerung des Crest-Faktors detaillierter wiedergibt,

20

Figur 3 zeigt eine mögliche Anordnung von Filtern zur Verarbeitung des übertragenden Signals, und

25

Figur 4 zeigt die Amplitudenverteilung des Sendesignals bei der diskreten Multiton-Modulation.

Die in Figur 1 schematisch dargestellte Schaltungsanordnung beschreibt ein System zur Datenübertragung nach dem Verfahren der diskreten Multiton-Modulation. Dabei sendet eine Datenquelle 1 digitale Daten seriell an einen ersten Seriell-/Parallel-Wandler 2, der die seriellen Daten in Datenblöcke mit jeweils $N/2$ Teilblöcke aufteilt. Die Zahl N beschreibt die Anzahl der Elemente des zur Datenübertragung im Zeitbereich verwendeten Signalvektors.

30

35

12

Die Teilblöcke werden parallel an einen Kodierer 3 übertragen, der jeden der $N/2$ Teilblöcke auf jeweils eine Trägerfrequenz der zur Datenübertragung zur Verfügung stehenden $N/2$ Trägerfrequenzen verteilt und damit einen ersten digitalen
5 Signalvektor im Frequenzbereich mit $N/2$ Elemente $C_1, C_2, \dots, C_{N/2}$ zur Amplituden- und Phasenmodulation jeweils einer Frequenz erzeugt.

Aus diesem Signalvektor im Frequenzbereich erzeugt ein erster
10 inverser Fourier-Transformator 4 durch eine inverse schnelle Fourier-Transformation einen Signalvektor y im Zeitbereich mit N Elementen y_1, y_2, \dots, y_N (entsprechend den N Abtastwerten). Die N Elemente des Signalvektors y_1, y_2, \dots, y_N im
15 Zeitbereich entsprechen dabei N Abtastwerten des zu sendenden Signals. Dabei weist der Signalvektor y_1, y_2, \dots, y_N im Zeitbereich einen hohen Crest-Faktor auf. Dieser soll verändert und insbesondere verringert werden.

Der Signalvektor y_1, y_2, \dots, y_N im Zeitbereich wird parallel
20 zu einem Parallel-/Seriell-Wandler 5 übertragen, indem vor den Signalvektor y_1, y_2, \dots, y_N ein Prefix vorangestellt wird. Dieses Prefix wird von M Elementen des Signalvektors y im Zeitbereich gebildet, wobei die M Elemente sich am Ende des Signalvektors y vor dem letzten Element befinden, so dass die
25 Elemente y_{N-M} bis y_{N-1} dem ursprünglichen Signalvektor y_1, y_2, \dots, y_N vorangestellt werden. Der daraus entstehende erweiterte Signalvektor weist $N + M$ Elemente auf. Diese Maßnahme wird auch als Cyclic-Prefix bezeichnet. Durch das Prefix wird erreicht, dass auf der Empfängerseite die Einschwingvorgänge
30 bis zum Beginn des Signalvektors y_1, y_2, \dots, y_N im Wesentlichen abgeschlossen sind und die Entzerrung vereinfacht werden kann.

Der erweiterte Signalvektor im Parallel-/Seriell-Wandler 5
35 wird seriell zu einer Korrekturvorrichtung 17 übertragen, die zur Verringerung des Crest-Faktors dient und später im Detail beschrieben werden wird. Die Korrekturvorrichtung 17 liefert

17

13

Ausgangsdaten seriell an einen Digital/Analog-Wandler 7, dessen analoges Ausgangssignal von einem Sendeverstärker 7 zur Übertragung über einen Übertragungskanal 8 verstärkt wird. Dabei wird das Übertragungssignal vom Übertragungskanal 8 linear verzerrt und durch eine Addition 9 von einem Rauschanteil 10 überlagert. Das Rauschen kann dabei an vielen Stellen, beispielsweise im Übertragungskanal 8 durch Über- oder Nebensprechen im Sendeverstärker 7 oder im Digital/Analog-Wandler 6 entstehen.

10

Auf der Empfängerseite befindet sich ein Entzerrer 11, dem das übertragene Signal zugeführt wird und der das Signal entzerrt und an einen Analog/Digital-Wandler 12 weiterleitet. Das digitale Ausgangssignal des Analog/Digital-Wandlers 12

15

wird seriell einem Seriell-/Parallel-Wandler 13 zugeführt, der die Elemente des um das Prefix erweiterten Signalvektors y aufnehmen kann. Der Signalvektor mit Prefix wird bis zum Ende in den Seriell-/Parallel-Wandler 13 durchgeschoben, wobei sich am Ende der Schiebeoperation das Prefix am Ende des

20

Seriell-/Parallel-Wandlers 13 und der ursprüngliche Signalvektor dahinter befindet. Von dem Seriell-/Parallel-Wandler 13 wird nur der ursprüngliche Signalvektor ohne Prefix parallel als empfangener Signalvektor x_1, x_2, \dots, x_N an einen zweiten Fourier-Transformator 14 übertragen. Der empfangene Signalvektor x_1, x_2, \dots, x_N im Zeitbereich wird durch den zweiten Fourier-Transformator 14 durch schnelle Fourier-

25

Transformation zurück in den Frequenzbereich übertragen und liefert einen empfangenen Signalvektor $d_1, d_2, \dots, d_{N/2}$ im Frequenzbereich mit $N/2$ Elementen. Dadurch wird das durch den

30

Signalvektor dargestellte Empfangssignal auf die verschiedenen Trägerfrequenzen der diskreten Multiton-Modulation abgebildet. Der empfangene Signalvektor im Frequenzbereich $d_1, d_2, \dots, d_{N/2}$ wird einer Empfangsstufe 15 zugeführt, die aus der Amplitude und der Phase der Trägerfrequenzen die digitalen

35

Daten berechnet und einer Datensenke 16 zuführt.

In Figur 2 ist ein Ausschnitt der Schaltungsanordnung gemäß Figur 1 um die Korrekturvorrichtung 17 im Detail dargestellt. Wie zuvor beschrieben liefert der erste Fourier-Transformator 4 einen Signalvektor y im Zeitbereich, der im Parallel-

5 /Seriell-Wandler 5 mit einem Prefix versehen und seriell als erweiterter Signalvektor im Zeitbereich ausgegeben wird. Der erweiterte Signalvektor im Zeitbereich durchläuft einen digitalen Hochpass 18, in dem die Spektralanteile in einem unteren Frequenzbereich entfernt werden, der zur Übertragung von Telefongesprächen über eine Telefonleitung verwendet wird.

10 Anschließend durchläuft der Signalvektor einen ersten Tiefpass 19, der die Spektralanteile oberhalb der Nyquist-Frequenz entfernt. In dem ersten Tiefpass 19 wird dazu die Abtastfrequenz verdoppelt, das durch den nach oben gerichteten Pfeil signalisiert wird. Am Ausgang des ersten Tiefpasses 19 liegt somit der erweiterte Signalvektor im Zeitbereich mit der doppelten Abtastfrequenz f_A und damit der doppelten Anzahl an Elementen vor. Das Ausgangssignal des ersten Tiefpasses 19 wird zu einem ersten Umschalter 20 geleitet, der im

20 Takt der doppelten Abtastfrequenz f_A die Elemente auf zwei Teilsignalvektoren verteilt, die jeweils in eines von zwei Teilsignalvektorregistern 21, 24 geladen werden. Dabei werden die Elemente des erweiterten Signalvektors vom Ausgang des ersten Tiefpasses 19 abwechselnd auf die beiden Teilsignalvektoren verteilt. Im Ergebnis enthält somit der erste Teilsignalvektor die Elemente des erweiterten und Abtastfrequenz verdoppelten Signalvektors im Zeitbereich mit geradem Zeitindex, das heißt die Elemente $y_k, y_{k-2}, y_{k-4}, \dots$, wohingegen der zweite Teilsignalvektor die Elemente mit ungeradem Zeitindex $y_{k-1}, y_{k-3}, y_{k-5}, \dots$, enthält, wobei k der Laufindex für die Elemente des abtastfrequenzverdoppelten, erweiterten Signalvektors darstellt und somit bis $2N$ läuft.

Die beiden Teilsignalvektorregister 21 und 24 liefern die 35 beiden Teilsignalvektoren y_k, y_{k-2}, \dots und y_{k-1}, y_{k-3}, \dots jeweils an eine erste bzw. zweite Teilkorrekturvorrichtung 22 bzw. 25. In jeder dieser beiden Teilkorrekturvorrichtungen 22

und 25 wird in Abhängigkeit des jeweils anliegenden Teilsignalvektors ein Korrekturvektor berechnet, dem Signalvektor überlagert bzw. zu diesem hinzuaddiert und als Ergebnis dieser Überlagerung ein Teilausgangsvektor z ausgegeben. Dabei wird von der ersten Teilkorrekturvorrichtung 22 ein erster Teilausgangsvektor mit geradzahligem Zeitindex erzeugt, der die Elemente $z_k, z_{k-2}, z_{k-4}, \dots$ aufweist. Der von der zweiten Teilkorrekturvorrichtung 25 erzeugte Teilausgangsvektor umfasst die Elemente mit ungeradem Zeitindex $z_{k-1}, z_{k-3}, z_{k-5}, \dots$. Die beiden Teilausgangsvektoren werden parallel zu Teilausgangsregistern 23, 26 geschrieben, von denen sie seriell ausgegeben werden können. Die Ausgangssignale der beiden Teilausgangsregister 23, 26 werden zu einem zweiten Umschalter 27 geleitet, der synchron zum ersten Umschalter 20 mit der doppelten Abtastfrequenz $2f_A$ getaktet wird und die Elemente der beiden Teilausgangsvektoren in den beiden Teilausgangsregistern 23, 26 abwechselnd zu einem einzigen Vektor zusammenfügt, der wiederum $2N$ Elemente umfasst. Am Ausgang des zweiten Umschalters 27 liegt somit der vom ersten Tiefpass 19 gelieferte in Bezug auf die Abtastfrequenz verdoppelte, erweiterte Signalvektor im Zeitbereich an, bei dem zusätzlich eine Verringerung des Crest-Faktors vorgenommen wurde. Im Inneren der beiden Teilkorrekturvorrichtungen 22, 25 findet jeweils die gleiche Operation statt, die im Folgenden beschrieben wird.

Grundsätzlich wird ein Korrekturvektor verwendet, der nur Spektralanteile bei der Abtastfrequenz $f_{A/2}$ aufweist, so dass er durch Skalieren eines Vektors mit den Elementen $+1, -1, \dots$ erzeugt werden kann. Diese Folge aus abwechselnd $+1$ und -1 wird so skaliert, dass ein Maximalwert im Teilsignalvektor und auch der Crest-Faktor verringert wird. Gleichzeitig wird durch einen derartigen Korrekturvektor die Information in den Frequenzkanälen nicht gestört, da ein derartiger Korrekturvektor nur Frequenzanteile bei der Nyquist-Frequenz hinzufügt, die nicht zur Datenübertragung verwendet wird.

Im Folgenden soll zur Beschreibung der Berechnung eines Korrekturvektors ein neuer Laufindex i eingeführt werden, der die Elemente eines Teilsignalvektors fortlaufend durchnummeriert. Dieser neue Laufindex i läuft von 1 bis N . Der Korrekturvektor für den ersten Teilsignalvektor soll mit Δy_1 und der erste Teilsignalvektor mit y_1 bezeichnet werden. Davon ausgehend berechnet sich der erste Korrekturvektor Δy_1 wie folgt:

$$\Delta y_{1,i} = -\frac{1}{2} \cdot (-1)^i \left(\max((-1)^i \cdot y_{1,i}) + \min((-1)^i \cdot y_{1,i}) \right)$$

Dabei bezeichnet \max das größte Element eines Vektors und \min das kleinste Element eines Vektors. Die Berechnung des zweiten Korrekturvektors zur Verwendung in der zweiten Teilkorrekturvorrückung 25 erfolgt analog, wobei anstelle des ersten Teilsignalvektors $y_{1,i}$ ein zweiter Teilsignalvektor $y_{2,i}$ tritt, der die Elemente y_{k-1} , y_{k-3} , y_{k-5} , ... beinhaltet. Entsprechend wird ein zweiter Korrekturvektor $\Delta y_{2,i}$ berechnet.

Die beiden Teilausgangsvektoren z_k , z_{k-2} , z_{k-4} , ... und z_{k-1} , z_{k-3} , z_{k-5} , ... werden durch Addition des ersten Teilsignalvektors y_1 bzw. des zweiten Teilsignalvektors y_2 mit dem ersten Korrekturvektor Δy_1 bzw. dem zweiten Korrekturvektor Δy_2 berechnet.

Der am Ausgang des zweiten Umschalters 27 erzeugte, abtastfrequenzverdoppelte, erweiterte Signalvektor durchläuft einen zweiten Tiefpass 28, in dem die Abtastfrequenz noch einmal auf des Vierfache der ursprünglichen Abtastfrequenz f_A erhöht wird. Die beiden Tiefpässe 19 und 28 sind so eingerichtet, dass der erste Tiefpass 19 im Vergleich zum zweiten Tiefpass 28 eine stärkere Veränderung des Frequenzspektrums bewirkt und somit der zweite Tiefpass 28 einen geringeren Anstieg des Crest-Faktors im Signal zur Folge hat.

17

In Figur 3 ist eine Kette von Filtern dargestellt, wie sie in dem System gemäß Figur 1 zwischen dem Parallel-/Seriell-Wandler 5 und dem Digital/Analog-Wandler 6 eingeschleift sein

kein. An einer beliebigen Stelle innerhalb dieser Filterkette kann die Korrekturvorrichtung 17 zur Verringerung des Crest-Faktors eingefügt sein. In der in Figur 2 dargestellten Ausgestaltung der Korrekturvorrichtung 17 wird bedingt, dass am Eingang des ersten Umschalters 20 ein Signal mit der doppelten Abtastfrequenz f_A anliegt. Daher muss durch die Stelle,

an der die Korrekturvorrichtung 17 innerhalb der Filterkette angeordnet ist, und die Ausgestaltung der davor liegenden Filterblöcke so eingerichtet sein, dass am ersten Umschalter 20 ein Signal mit der doppelten Abtastfrequenz f_A anliegt.

Wenn beispielsweise mehrere Tiefpassfilter vor der Korrekturvorrichtung 17 vorgesehen sein sollen, müssen diese so eingerichtet sein, dass sie in Summe die Abtastfrequenz nur auf das Doppelte erhöhen. Im in Figur 3 dargestellten Fall wäre die Korrekturvorrichtung 17 zwischen dem ersten Tiefpass 19 und dem zweiten Tiefpass 28 angeordnet. An den zweiten Tiefpass 28 kann sich ein dritter Tiefpass 29 anschließen, in dem die Abtastfrequenz gegebenenfalls noch einmal verdoppelt werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verändern des Crest-Faktors eines zeitdis-
kreten Signals, das von zeitlich aufeinanderfolgenden Signal-
werten (y_k) eines Signalvektors (y) gebildet ist, bei welchem
5 Verfahren in Abhängigkeit des Signalvektors (y) wenigstens
ein Korrekturvektor (Δy) berechnet und zum Signalvektor (y)
addiert wird,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
10 dass das durch den Signalvektor (y) beschriebene Signal zu-
erst gefiltert und anschließend in Abhängigkeit des gefilter-
ten Signalvektors wenigstens ein Korrekturvektor (Δy) berech-
net und zum gefilterten Signalvektor addiert wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass das durch den Signalvektor (y) beschriebene Signal hoch-
passgefiltert und/oder tiefpassgefiltert wird.
- 20 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Signal Träger von Daten ist, wobei alle Spektralan-
teile der Daten unterhalb der durch $2^{(N+1)}$ geteilten Abtast-
frequenz des Signals liegen, dass die Signalwerte (y_k) des
25 Signalvektors (y) nach einer Filterung zyklisch abwechselnd
auf 2^N Teilsignalvektoren aufgeteilt werden und für jeden
Teilsignalvektor unabhängig wenigstens ein Korrekturvektor
(Δy) aus dem jeweiligen Teilsignalvektor berechnet und zu dem
jeweiligen Teilsignalvektor hinzuaddiert wird, und anschlie-
30 ßend die Elemente der Teilsignalvektoren zyklisch abwechselnd
zu einem Ausgabesignalvektor zusammengesetzt werden, wobei N
ganzzahlig und ≥ 1 ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
35 dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass $N = 1$ ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der wenigstens eine Korrekturvektor (Δy) durch Skalierung wenigstens eines Ausgangskorrekturvektors berechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass der wenigstens eine Ausgangskorrekturvektor ausschließlich Spektralanteile in Frequenzbereichen enthält, die verschieden zu Frequenzbereichen sind, die zur Übertragung von Daten in dem Signal verwendet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Elemente (Δy_k) des wenigstens einen Korrekturvektors (Δy) aus dem größten (max) Element und dem kleinsten (min) Element der Elemente (y_k) des digitalen Signalvektors (y) wie folgt berechnet werden:

$$\Delta y_k = -\frac{1}{2} \cdot (-1)^k \left(\max((-1)^k \cdot y_k) + \min((-1)^k \cdot y_k) \right),$$

mit $k = 1, \dots$, Anzahl der Elemente des Signalvektors.

8. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Elemente (Δy_k) des wenigstens einen Korrekturvektors aus dem größten (max) Element und dem kleinsten (min) Element der Elemente (y_k) des digitalen Signalvektors (y) wie folgt berechnet werden:

$$\Delta y_k = -\frac{1}{2} \cdot (\max(y_k) + \min(y_k)),$$

mit $k = 1, \dots$, Anzahl der Elemente des Signalvektors (y).

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Elemente des wenigstens einen Korrekturvektors (Δy) mit einer Fensterfunktion multipliziert werden, so dass die

Elemente des wenigstens einen Korrekturvektors in wenigstens einem Bereich 0 sind.

10. Verfahren nach Anspruch 9,

5 dadurch gekennzeichnet,
dass die Schritte des Berechnens wenigstens einen Korrektur-
vektors (Δy) in Abhängigkeit des Signalvektors (y) und das
Hinzuaddieren des berechneten wenigstens einen Korrekturvek-
tors (Δy) zum Signalvektor (y) wenigstens einmal wiederholt
10 werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

15 dass der Signalvektor (y) zu Beginn an einem ersten Ende um
wenigstens ein Element des Signalvektors beginnend vom entge-
gegengesetzten zweiten Ende des Signalvektors (y) verlängert
wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11 und einem der Ansprüche 9 bis
20 10,

dadurch gekennzeichnet,
dass die Verlängerung des Signalvektors (y) am ersten Ende zu
Beginn des Verfahrens durchgeführt wird und der wenigstens
eine gefensterte Korrekturvektor (Δy) entsprechend der Ver-
25 längerung des Signalvektors (y) an einem ersten Ende des ge-
fensterten Korrekturvektors um wenigstens ein aufeinanderfol-
gendes Element des gefensterten Korrekturvektors beginnend am
entgegengesetzten zweiten Ende des gefensterten Korrekturvek-
tors verlängert wird, so dass der gefensterte Korrekturvektor
30 (Δy) und der Signalvektor (y) um die gleiche Anzahl von Ele-
menten verlängert wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche ,
dadurch gekennzeichnet,

35 dass der Signalvektor (y) durch inverse Fourier-Transforma-
tion berechnet ist.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Signalvektor (y) Daten nach dem Verfahren der diskreten Multitonmodulation enthält.

5

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren zur Datenübertragung über Telefonleitungen nach dem ADSL-Standard verwendet wird.

10

16. Vorrichtung zum Verändern des Crest-Faktors eines zeitdiskreten Signals, das von zeitlich aufeinander folgenden Signalwerten (y_k) eines Signalvektors (y) gebildet ist, wobei die Vorrichtung derart eingerichtet ist, dass sie in Abhängigkeit des Signalvektors (y) wenigstens einen Korrekturvektor (Δy) berechnet und zum Signalvektor (y) addiert, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung derart eingerichtet ist, dass das durch den Signalvektor (y) beschriebene Signal zuerst gefiltert und anschließend in Abhängigkeit des gefilterten Signalvektors (y) wenigstens ein Korrekturvektor (Δy) berechnet und zum Signalvektor (y) addiert wird.

20

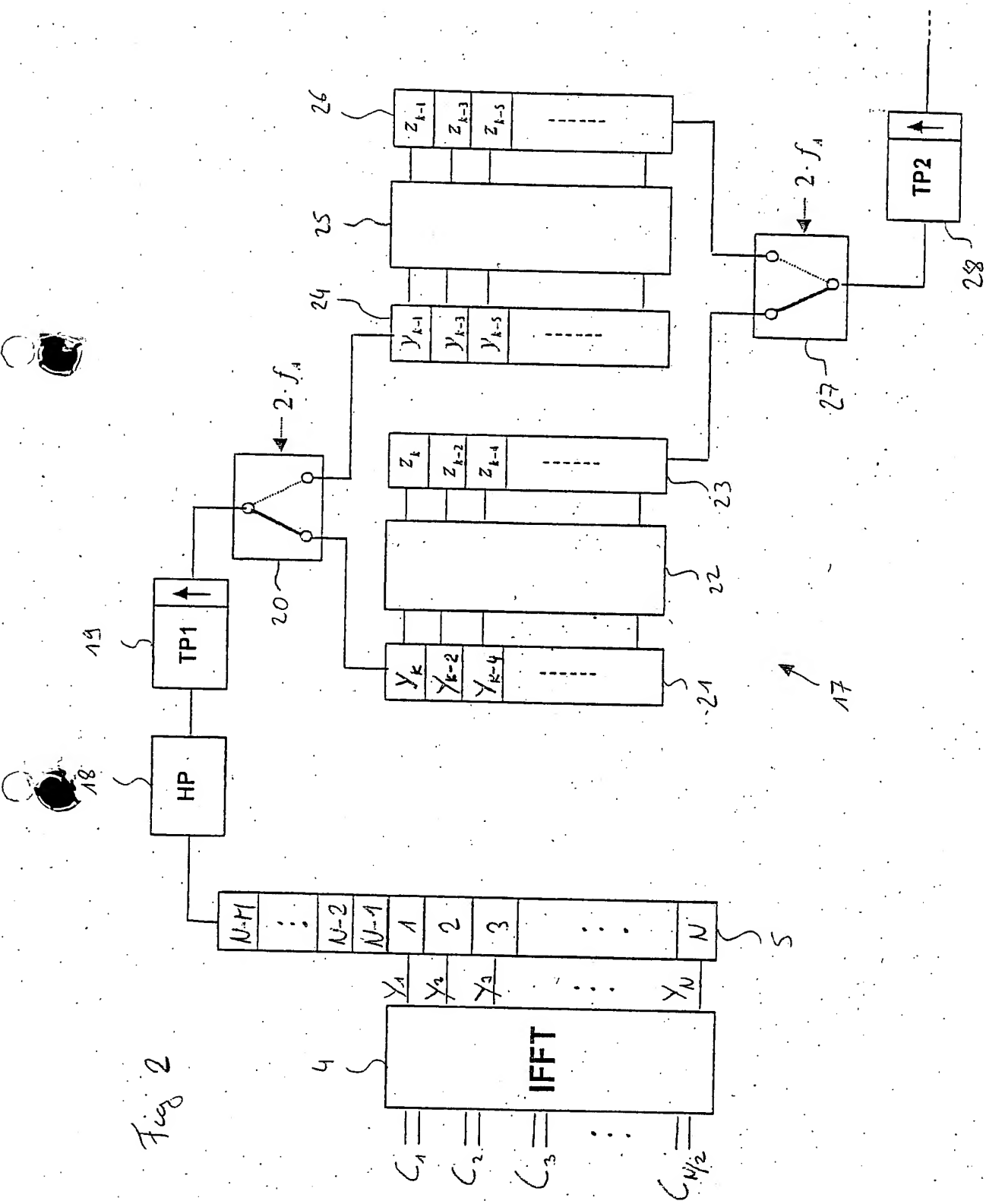
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15 eingerichtet ist.

25

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung ein Signalprozessor ist.

30





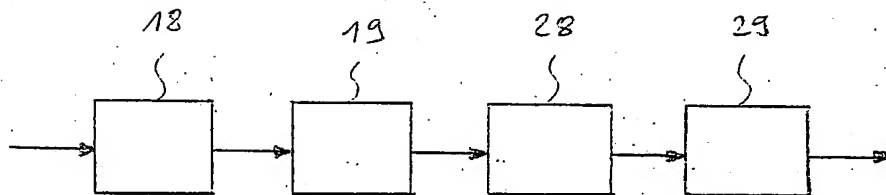


Fig. 3

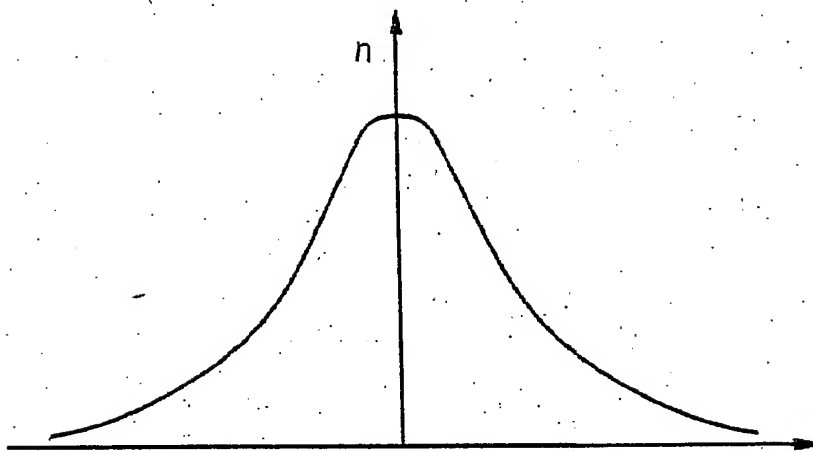


Fig. 4